
龙芯公司软件产品与技术白皮书

2014 年 10 月

龙芯中科技术有限公司

目录

1. 概述	4
2. JAVA.....	4
2.1 产品化及市场应用情况.....	6
2.2 后续的研发和产品计划.....	8
3. 浏览器	8
3.1 总体技术状态.....	8
3.2 浏览器研发工作的技术性介绍.....	10
3.3 后续的研发计划.....	14
4. 图形系统	14
4.1 显卡 GPU 驱动层面优化.....	15
4.2 基础图形库.....	16
4.3 图形环境优化适配.....	17
4.4 产品化应用与研发计划.....	17
5. Linux 内核优化	18
5.1 内核基本情况.....	18
5.2 内核研发工作.....	19
5.3 内核性能优化.....	20
6. 视频媒体解码.....	21
7. 合作厂商与龙芯软件生态.....	22
7.1 操作系统.....	22
7.2 数据库.....	24
7.3 中间件支持.....	25

7.4 办公软件.....	25
7.5 其他基础软件及开发环境.....	26

1. 概述

基于龙芯平台的国产软硬件系统在过去四年间围绕着核高基示范应用、军事信息系统等重点项目，在诸多复杂应用领域得到适配与试用。这一前所未有的自主信息化实践对国产软硬件系统的技术状态和产品化程度进行了全面深入检验，充分暴露了国产自主信息化系统在各个层面的问题，特别是国产系统偏弱的性能表现，成为各方关注的焦点，性能瓶颈能否解决也成为我国的自主信息化能够继续推动的关键所在。

为了厘清国产软硬件系统性能瓶颈所在，对目前国产软硬件系统整体性能现状进行科学分析与判断，自 2013 年初开始，龙芯公司联合相关合作单位，以实际用户应用为主要目标，对龙芯软件系统进行了全面深入的整体分析。针对软件生态中的薄弱环节和瓶颈问题，龙芯公司在 JAVA、浏览器、图形系统等领域组建了各类专业技术团队，围绕着实际客户应用积极开展软件生态建设和应用适配优化。经过近两年来的努力，龙芯平台实际应用系统的关键性能技术指标得到显著提升，大量用户的龙芯系统应用从原先“没法用、不好用”变为“能用，易用”，甚至出现一些优化案例能够超越 X86 系统性能表现。

本白皮书将从产品和技术的角度对龙芯软件生态环境进行技术性介绍。

2. JAVA

产品的技术状态

龙芯公司早在 2009 年就组建了 JAVA 研发团队，专门从事龙芯系统平台上 JAVA 环境的移植、适配与优化工作。经过多年的研发技术

积累和市场应用推广，目前在龙芯平台上形成了两款产品级的 JAVA 版本，即 OpenJDK6 和 OpenJDK8。

当前，龙芯平台上的 OpenJDK 在功能与 X86 平台上的 JAVA 执行环境高度兼容，可以在二进制级实现 JAVA 应用的跨平台无缝迁移。为了最大程度地释放硬件性能潜力，龙芯公司的 JAVA 团队自主研发了 MIPS 架构的即时编译技术等多项优化技术，推动龙芯平台上 JAVA 应用执行效率的持续提升。在版本更新方面，龙芯平台发布的 JAVA 环境与社区官方版本保持同步更新维护（同步间隔不超过 3 个月，当前最新版本是 JDK 8u5），以保证龙芯平台用户能够及时使用 JAVA 社区官方最新版本在缺陷修正、特性增强等方面的技术成果。

龙芯公司 JAVA 团队的主要研发工作包括：在 JAVA 虚拟机中，从无到有地实现了对龙芯 MIPS 架构的支持；自主研发了 MIPS32/64 两类即时编译器 JIT（Just-in-time Compiler），结合即时编译器、动态优化、垃圾回收等优化理论，从多个层面和角度对龙芯平台 JAVA 运行效率进行了持续深入优化；解决了 OpenJDK 官方版本与 Oracle JDK 的大量兼容问题。期间，自主研究并实现了 10 余项 Java 虚拟机优化方法，包括高复杂度即时优化算法（寄存器分配，指令流水线优化）、龙芯双路板 NUMA 架构负载均衡优化、Java 线程指针访问优化、64 位虚拟机的压缩对象指针优化，Java 本地接口调用优化等等。在 OpenJDK 的 JAVA 虚拟机的全部源码中，龙芯公司累积贡献和维护 8.4 万行系统软件代码（大部分是汇编语言），发表学术论文 3 篇，申请发明专利 5 项。通过上述的优化工作，在 2012 至 2013 年两年时间内，龙芯平台的 JAVA 执行性能提升了 1 倍（以国际通用的 SpecJVM 作为衡量指标）。

龙芯 Java 性能测试分值			
测试环境：龙芯 3B 双路 + 8G 内存 + CentOS 6.0 (64 位) + 内核 2.6.32 JDK8-beta1 + -XX:+UseNUMA + SpecJVM 2008 (所有参数默认)			
测试日期：2014.6.21			
项目	分值	项目	分值
startup.helloworld	23.96	scimark.sor.large	6.73
compiler.compiler	64.47	scimark.sparse.large	2.66
compiler.sunflow	39.86	scimark.fft.small	70.08
compress	96.15	scimark.lu.small	45.90
crypto.aes	26.76	scimark.sor.small	38.70
crypto.rsa	70.49	scimark.sparse.small	25.16
crypto.signverify	98.97	Scimark.monte_carlo	26.55
derby	57.91	serial	14.14
mpegaudio	39.34	sunflow	25.66
scimark.fft.large	12.66	xml.transform	33.90
scimark.lu.large	1.54	xml.validation	66.46
几何平均：27.37			

2.1 产品化及市场应用情况

目前，在国家 12 个自主信息化试点项目中，都采用了基于龙芯 JAVA 环境的示范应用案例，能够良好运行各种办公系统、邮件系统、ERP 系统等。JAVA 应用系统达到 7x24 服务器级稳定水平，确立龙芯做为通用 Web 服务器的能力。龙芯公司自己的邮件服务器和一些内部办公系统就是在龙芯服务器和 Java 虚拟机上运行的。

围绕着龙芯软件生态环境建设，大量自主信息软件都在龙芯 Java 环境下进行了适配，包括中间件、数据库、Office、开发工具、邮件系统等都已经在国产自主信息化试点项目中得到了部署使用。

工信部某 OA 系统是龙芯 Java 服务器部署的成功范例。整个服务器系统基于龙芯 3A 单路服务器，运行 64 位服务器操作系统和 Java 虚拟机，东方通中间件做为 Web 服务器，达梦数据库做为后端数据

存储。OA 应用系统采用“Structs/Hibernate”架构。实际测试达到每秒点击率 200 以上，满足中等规模业务压力要求。

工信部 OA 系统 Web 测试数据			
单台龙芯 3A (900 MHz), 50 人并发压力测试			
		龙芯 JDK6	龙芯 JDK8
点击率 (次/秒)		184	230
页面 响应 时间 (秒)	登录	3.513	2.499
	部发文	4.036	5.468
	保存	0.663	0.623
	发送	4.054	3.978
	退出	0.053	0.056

在这个过程中，龙芯公司 JAVA 团队解决了自主信息化应用软件适配和磨合中的大量问题。期间，甚至一些在 X86 平台上都存在的 JAVA 共性问题，都是由龙芯 JAVA 团队在国际上首次发现并解决。目前龙芯 Java 虚拟机已经在用户群体中建立了较好口碑，很多用户遇到高难度的 Java 问题，无论是在 X86 上还是龙芯的问题，尤其是需要掌握深厚的虚拟机原理才能解决的问题，都是反馈给龙芯公司 JAVA 团队做最后的技术解决。

龙芯 JAVA 平台已解决的主要 JAVA 问题一览表	
1	解决 Eclipse 在 MIPS 平台上的调试功能支持；
2	解决 OpenJDK 官方原版缺乏支持 Java Applet Plugin 插件的问题；
3	解决 Java 图形程序中的中文字体支持；
4	启用反走样渲染优化，大幅度提升 Java2D 图形性能；
5	修正“java -version”的版本标识问题；
6	修正 OpenJDK 官方原版对 java.beans 的支持问题；
7	修正 OpenJDK 官方原版对 com.sun.image.codec.jpeg 类库的支持问题；
8	修正 InetAddress::getLocalHost() 在 Linux 上返回网卡的物理 IP 地址的问题；
9	消除 Tomcat 启动时间不稳定的问题；
10	修正 os.arch 获取操作系统标识问题；
11	补充 OpenJDK 7 的 copyMemory(Object, long, Object, long, long)；
12	JAXP 升级：采用 openjdk8 中的最新版本，glassfish 正常运行；

13	修正 UseHeavyMonitors 开关：从 OpenJDK 8 迁移修正代码；
14	解决 OpenDS 早期版本控制面板问题：修正 GTKPainter.java；
15	解决 OpenJDK 官方原版缺乏支持 Java Web Start 的问题；
16	增加 Mozilla Rhino 脚本引擎支持；
17	增加可信证书，修正龙芯运行 VPN 插件的异常错误；
18	修正 Java2D 图形应用中字号大于 100 时绘制出错的问题
19	解决运行 Sqlite-jdbc 插件的崩溃问题。
20	解决 Eclipse 在 MIPS 平台上的调试功能支持；
21	解决 OpenJDK 官方原版缺乏支持 Java Applet Plugin 插件的问题；
22	解决 Java 图形程序中的中文字体支持；

2.2 后续的研发和产品计划

龙芯 Java 形成 JDK 6 和 8 两条产品线，其中 JDK 6 是已经得到大规模应用的成熟产品，具有高度的可能靠性和稳定性；JDK 8 与官方最新版本同步升级，具有更高的性能和更新的类库支持。JDK 8 的性能比 JDK 6 提升 30%。JDK 8 对 JDK 6 达到 100% 兼容，已经具备较高成熟度，能够在产品应用环境中全面取代 OpenJDK 6。

虽然目前 OpenJDK 6 官方社区已经停止维护和升级，但龙芯公司考虑到现有用户的实际应用状况，仍将对龙芯平台的 OpenJDK 6 保持长期的维护和技术支持。同时，OpenJDK 8 将做为未来龙芯 JAVA 平台的主推版本，龙芯 JAVA 团队会对 OpenJDK 版本持续进行完善与优化，与官方最新版本的同步升级周期小于 3 个月。

3. 浏览器

3.1 总体技术状态

浏览器是桌面平台最核心的应用软件，直接决定系统的整体观感和用户体验，而随着云计算、HTML5 技术发展，浏览器进一步演进成

平台化的应用环境框架，不再是一种单纯的应用软件。

龙芯公司于 2011 年组建了浏览器团队，专门从事龙芯平台上主流浏览器的适配与优化。作为龙芯浏览器团队过去三年的研发工作成果，Chrome 和 Firefox 两大主流开源浏览器均可在龙芯平台上稳定可靠运行。其中，Firefox 可运行版本有 4/17/24，24 版本为龙芯长期维护版本。Chrome 版本有 31，31 版本为龙芯长期维护版本。各版本功能对比如下：

龙芯平台浏览器特性与功能			
功能项\版本	Chrome31	Firefox24	Firefox17
WebGL	YES	YES	NO
HTML5	YES	YES	PARTIAL
Flash 播放	YES	YES	YES
插件支持	YES	YES	YES
Profile 调试与分析	YES	YES	NO
JS/JIT	YES	YES	YES

在功能完备性方面，龙芯平台浏览器已经具备了非常完善 HTML5、WebGL/OpenGL、GPU 硬件加速等复杂功能。例如以标准的 HTML5test 测试得分作为衡量指标，龙芯平台 Chrome31 得分达到 503 分，与 X86 平台的 Chrome34 得分 506 相当。

在浏览器的性能优化方面，在 Javascript 脚本引擎、媒体库、基础图形库等方面开展了大量优化工作，主要的性能指标如 Javascript 测评得分、浏览器滚动帧率等得到显著改善和提升。基于龙芯平台的 Chrome 浏览器，用户可以流畅浏览复杂网页，观看优酷、搜狐等网站的在线视频。

龙芯公司还与上游浏览器社区建立了紧密的互动联系，目前已经成为 Chrome 浏览器社区 V8 Javascript 引擎的核心研发成员，独立承担或共同完成了社区大量模块和功能的开发工作。仅在 2014 年上半

年，龙芯的浏览器团队就向 Chrome V8 社区贡献了 2 万多行代码，已经在 Chrome V8 最新源码版本中发布。

在实际产品化应用方面，龙芯平台上的 Chrome 和 Firefox 两款浏览器已运用于多个国产自主信息化示范项目中，期间，浏览器的功能和性能都得到了充分测试适配和不断改进完善，已产品化应用的复杂领域包括：三维 WebGL/GIS，2dCanvas 地图标绘、富媒体页面展示、在线视频播放、办公插件、Flash 应用等。

3.2 浏览器研发工作的技术性介绍

浏览器软件整体架构庞大复杂，全部源码量达到数千万行，涉及上百种第三方软件包。针对 Chrome 浏览器整体架构，特别是针对于用户体验直接相关的性能指标和龙芯平台上原有的薄弱环节，龙芯浏览器团队在 Javascript 引擎、基础库函数优化、用户体验等方面开展了大量研发工作，在功能完善和性能提升方面取得了良好效果。

Javascript 引擎优化

Javascript 是一种采用即时编译技术实现的解释型脚本语言，具有部署简单、升级便捷、跨平台运行的特点，已经演进成基于 HTML5 规范的浏览器编程语言标准。Javascript 程序由浏览器的 Javascript 引擎进行解释或翻译执行，引擎的执行效率会直接影响浏览器平台应用的整体性能，特别是动态交互式应用的用户体验。因此，Javascript 执行引擎的优化一直是浏览器研发最为活跃的领域之一，引擎自身也是作为一个相对独立的软件进行发展和演进。典型的 Javascript 引擎包括 Chrome 浏览器的 V8、Firefox 浏览器的 ionmonkey 等。

由于 Javascript 的高效执行需要将高级语言翻译成本地机器目标代码，涉及到大量即时编译技术和动态代码优化的计算理论，因此

Javascript 引擎执行效率与底层平台架构的优化工作紧密相关，例如底层架构优化经常需要手写汇编码才能获得最好的执行效率。

针对 Javascript 引擎对龙芯 MIPS 架构的支持相对薄弱的问题，龙芯的浏览器团队对 Javascript 引擎的架构优化进行了重点研究，大幅度提升了龙芯平台上 Javascript 引擎的性能。

对 Chrome 浏览器的 V8 引擎的优化工作主要是针对 MIPS 后端代码性能的优化，包括热点函数优化以及指令优化等；其中热点函数优化如通过手写汇编得到更高效的 memcpy 函数等；指令优化如使用 mul 替换老的 mult 和 mflo 指令，使用高效的访存指令等等。通过这些优化使得 V8 引擎性能得到 10%以上的提高。下表是 r13995 版本 V8 对 benchmark 在优化前后跑分对比。

龙芯平台 Chrome V8 引擎性能提升情况			
测试细项	优化前	优化后	性能提升
Richards	1247	1278	2.49%
DeltaBlue	1660	1750	5.42%
Crypto	1117	1418	26.95%
RayTrace	1412	1437	1.77%
EarkyBoyer	2304	2309	0.22%
RegExp	263	307	16.73%
Splay	500	578	15.60%
NavierStokes	1148	1188	3.48%
分值	1006	1110	10.34%

另外，团队还向社区贡献了大部分的 MIPS64 代码，新增代码 2 万多行。有了这些代码 V8 就可以在 N64 下成功运行，为后续 chrome 在 64 位系统上运行奠定基础。

ionMonkey 是 firefox 浏览器中 JS 引擎引入的 JIT 机制，对浏览器 JS 性能影响极大。官方目前还没有针对 MIPS 平台的支持。在移植之前，V8 benchmark 在龙芯上的跑分几十分，移植后跑分达到 900 多分，

移植代码 2 万多行。在稳定性测试方面，其自带的两套测试集共 9000 多个测试用例 100%通过。

同时通过代码的进一步优化，包括底层代码上提，优化代码路径；用高效率指令替换低效率指令，如使用 `sdcl`、`ldcl` 替换 `swcl`、`lwcl`；利用跳转指令和访存指令的延迟槽存储有效指令，提升指令执行并行性；针对正则表达式操作，单独开辟 JIT 支持路径-YARR JIT。特殊化处理 `double` 类型数据的存储及访问方式，进一步提升 JS 引擎在浏览器整体性能。性能数据如下：

龙芯平台 Chrome V8 引擎性能提升情况		
测试细项	优化前	优化后
总分	32.9	956
Richards	17.0	1381
DeltaBlue	20.1	1462.5
Crypto	21.1	922.5
RayTrace	48.7	1103.5
EarleyBoyer	69.6	213.5
RegExp	16.7	901
Splay	110	1025
NavierStokes	30.7	1344.5

基础库函数优化

矢量图形库 `skia` 是 Chrome 浏览器中基础图形渲染引擎，直接影响浏览器日常操作中大量的用户体验。针对 `Skia` 底层渲染算法在龙芯平台上优化不足的问题，龙芯浏览器团队在算法架构和底层实现方面对其进行了优化，采用了大量汇编语言对核心循环算法进行了优化实现。经过 `skia` 库的优化后，Chrome 浏览器的滚动帧率指标提升了 24%，直接改善了用户的日常操作体验。

浏览器处理网页渲染时，需要调用基础媒体库对图片动画的解压。尤其是针对复杂的多媒体网页，这类基础媒体库的性能不足会直

接降低浏览器的页面渲染速度，导致出现卡顿。通过对这类媒体库 png、jpeg、zlib 进行优化，例如通过对 JPEG 库进行优化，编码时间提升了 58%，解码效率提升了 26%。

用户体验优化

影响浏览器用户体验的一个重要方面是页面滚动帧率，当页面滚动小于 5 帧时用户体验较差，浏览过程中有顿挫感。Chrome 浏览器在优化前，页面滚动帧率为 4 帧/秒。通过应用适配及选项搜索调优，在龙芯平台上页面滚动帧率为 10 帧/秒，能流畅操作各大主流网站。

Flash、WPS 等插件模式支持

浏览器中，插件有两种运行方式：在浏览器线程中运行和独立线程运行。目前独立线程方式运行插件是未来的趋势，即便插件异常也不会影响浏览器主进程的崩溃。插件是运行在浏览器线程，这样会出现因插件的运行导致浏览器的奔溃。龙芯浏览器团队在两款浏览器中都实现了对独立插件模式支持，从而大大提升插件和浏览器的稳定性。

Profiler 性能分析调试平台

对于 Web 开发者，Profiler 性能分析调试平台有着重要作用。它可以帮助开发者快速准确发现应用程序中的性能瓶颈，并作针对性的优化。通过对前端渲染绘制和后端_breakpad 库分析栈功能进行移植，目前龙芯平台上的 Chrome 和 Firefox 都已经具备良好的 Profiler 性能分析平台，可以为浏览器平台的网页程序开发提供良好的基础环境支撑。

质量控制

浏览器系统庞大复杂，质量控制至关重要。通过完整运行 firefox

自带的测试套件，测试用例达到 11 万。在龙芯平台上测试通过率为 99.84%，作为对比，在 x86 平台上通过率为 99.92%。从而保证了龙芯平台上 firefox 的稳定性。

3.3 后续的研发计划

当前浏览器领域发展迅速，开源版本的 Firefox 和 Chrome 版本更新很快。龙芯平台上的浏览器版本一方面会保持版本稳定，保持做好已有客户的应用兼容，同时会积极引入浏览器发展的新技术和新功能，在 Javascript 程序并行化、浏览器多媒体视频播放、大型三维 WebGL 应用等方面开展工作，为新的应用模式做好技术准备。

4. 图形系统

图形系统是进行人机交互、各类桌面和终端应用的基础支持框架。目前支持龙芯平台的图形操作系统主要有两类，一是 Linux 桌面和终端操作系统（如 Fedora、中标麒麟、普华等），二是嵌入式操作系统（如 reWorks、vxWorks 等）。从上次图形应用的特点比较，Linux 基础窗口图形环境的系统架构庞大，层次依赖关系复杂，需要支撑复杂的三维图形和多媒体应用；嵌入式操作系统的图形环境架构相对简洁明确，但特定的性能指标要求较高。

针对不同领域的应用特点，龙芯公司在图形系统的研发和优化工作包含三个方面内容：

第一，在显卡 GPU 驱动层面，结合系统架构进行优化，以充分释放 GPU 硬件的性能潜力。

第二，在渲染库、解码库等基础图形库层面，结合龙芯 CPU 架

构进行算法优化，推动整体系统性能的改善。

第三，在 QT 等上层图形应用环境层面，进行瓶颈模块优化、基础环境完善，同时结合具体性能指标，与应用开发者协同进行适配、定制与优化。

在过去的产业化应用中，龙芯公司图形团队从上述三个技术层面着手，开展了大量的图形优化，帮助众多龙芯用户显著改善了实际图形系统的性能。经优化适配后，部分应用指标甚至有数量级倍的性能提升。

4.1 显卡 GPU 驱动层面优化

显卡 GPU 驱动是图形环境中最基础的模块，直接与底层显卡 GPU 硬件进行交互，其表现在很大程度上直接决定了整体图形系统的性能。根据操作系统环境及图形应用架构的不同，显卡 GPU 驱动的集成形式、接口规范与应用模式存在很大的差异。

在 Linux 操作系统中，显卡 GPU 驱动涵盖了操作系统内核的 GPU 驱动、X server 的硬件驱动、OpenGL 三维图形库驱动等诸多方面。在 Vxworks 等嵌入式操作系统中，显卡 GPU 主要体现在对 2D、3D 操作的实现与优化，以及对 DirectFB 等环境的支持。下表概述了近来在龙芯平台显卡 GPU 驱动层面的优化效果。

显卡 GPU 优化情况		
优化项目	优化前情况	优化效果
3D 图形库 Mesa	svPerfGL 测试每秒 1 帧 glxgears 三维齿轮每秒 50 帧	svPerfGL 三维测试每 80 帧 glxgears 三维齿轮每秒 700 帧
1A GPU 驱动	1A 手持终端图形系统效率低，用户体验差，视频播放卡，马赛克现	dfbtest 测试结果显示所有 GPU 加速项平均提升了 2.25 倍以上；视频由

	象严重	优化前的卡顿变为非常流畅,基本没有马赛克现象
2H / 3A2H GPU	2H GPU 驱动未与龙芯系统架构进行深入适配,日常操作用户体验极差	x11perf 所有 aatext (画字符) 测试项提高 50%;Linux 桌面终端中滚屏较优化前更加流畅

对于大型二维/三维图形等对显卡性能要求较高的应用,客户系统可以集成独立 GPU 显卡以提高图形应用性能。目前,AMD/ATI 系列的高端显卡都已经在龙芯平台上进行了充分的适配,龙芯平台上可支持的独立显卡见下表。

龙芯平台可支持的独立显卡列表
HD5450 、HD6670 、HD6450 、HD7870 、HD6770 、HD5550 、HD5750

4.2 基础图形库

龙芯公司图形团队在对窗口图形系统梳理过程中,定位了大量与上层应用和用户体验指标直接相关的重要基础软件库。通过使用算法改进、向量指令、汇编优化等技术,优化了这些软件库中大量的关键和瓶颈函数,使得相关基础库的性能得到显著提升,在改善实际系统性能方面发挥了重要作用。例如:优化后的 skia 库使 Chrome 浏览器的页面滚动速度得到 24%的提升;在某基于龙芯应用系统中,用户实际系统的截屏压缩模块直接采用了龙芯基础 JPEG 库的优化相关成果,使得性能指标大幅度改善。

基础库优化效果表	
基础库	优化效果
Pixman	110 个测试用例,其中 72 项提升了 20%以上,最大提升了 4.3 倍
libxft	x11perf 测试项中,有 65 项提高了 5%以上,其中有 18 项提高了 100%以上
Png	Png 库自带的测试程序性能提升约 42%
Jpeg	编码性能提高了 58%,解码性能提高了 26%
Zlib	Zlib 库自带测试程序性能提升 3%—5%

Drm	x11perf 中有 106 个测试用例性能提升率超过了 10%，最高提升 1.7 倍
-----	---

4.3 图形环境优化适配

原有龙芯系统的 OpenGL, Qt, GTK 等图形框架大都存在版本陈旧，对最新显卡 2D/3D 硬件加速支持不足甚至没有，与上层应用磨合不够等问题。通过对 Mesa, Qt 等相关软件包进行版本升级，辅以最新显卡的硬件驱动适配，龙芯平台上的图形相关测试指标得到显著提升。

通过对这些图形环境的框架分析和性能分析，我们总结了龙芯平台上进行 QT、GTK、OpenGL、WebGL 等图形编程的优化思路 and 手段，在用户技术支持方面取得了良好效果。

典型案例：某所二维图形系统应用。该 2D 图形应用的一项重点标绘操作要求在 4 秒内完成，而在龙芯 3A780 平台上起初需要 6 秒，无法满足设计要求。经过深入分析，发现用户系统图形库的矢量处理操作效率低下。在定位到瓶颈所在后，龙芯图形团队在矢量图形库的架构和算法各层次进行了深入优化，将该指标优化到了 1.6 秒，较之前的 6 秒提升近 4 倍，与 Intel X86 平台的 1 秒出头时间相差无几，顺利达到了 4 秒内完成的设计目标要求。之后，该项优化成果又成功应用于某指挥系统、某图形应用系统，使得原先效率低下的应用性能表现都得到了显著改善，相关的国产化应用项目得以顺利定型。

4.4 产品化应用与研发计划

上述龙芯平台图形系统方面的优化成果在产品化应用方面有几类形式：

- ③ 直接方式：与客户直接技术对接，将最新优化成果直接集成到客户系统。通过这种方式，我们已经帮助大量的龙芯客户显著改善了显示控制等图形应用方面的应用性能。

③ 间接方式：发布给操作系统厂商，由操作系统集成后发布给客户。因为时效性原因，龙芯用户实际拿到的操作系统系统（如中标麒麟、普华）可能没有完整集成全部的优化成果，用户可以访问龙芯软件生态建设网站 www.loongnix.cn 下载最新的软件成果。

当前 Linux 图形系统环境发展日新月异，老旧技术被淘汰，新技术不断涌现，龙芯平台的图形应用性能仍大有潜力可以挖掘。目前，龙芯公司图形团队正在 X 架构驱动优化、三维图形库驱动、QT 库优化、内核 GPU 驱动优化、OpenCL 加速通用计算等方面开展研发工作，持续改善和提升龙芯平台图形系统应用性能。

5. Linux 内核优化

5.1 内核基本情况

龙芯公司内核团队主要负责 Linux 内核与龙芯处理器的适配和优化，包括内核移植、定制、驱动开发、稳定性调试、性能优化、以及性能剖析工具的研发等。

目前龙芯公司官方支持的服务器内核版本为 2.6.32（未来会扩展至 3.10），桌面平台内核版本为 2.6.32 及最新的 3.16。平台上目前，龙芯平台上 2.6.32 和 3.16.0 内核均可稳定安全运行。

2.6.32 版本为龙芯公司长期维护版本，支持龙芯全系列处理器芯片，并且通过服务器稳定性测试标准。3.16.0 版本与官方 Linux 内核保持同步更新，能够及时享用内核新特性，从功能和性能方面带来更好的用户体验。

由于 Linux 内核庞大复杂，质量控制至关重要。龙芯公司发布的 Linux 内核通过运行 LTP 测试套件，测试内核的稳定性，同时采用大

量的基准测试程序，评估优化的效果。龙芯平台上，目前龙芯公司发布的内核 LTP 测试通过率为 99.14%，保证了龙芯平台上内核的稳定性与兼容性。

5.2 内核研发工作

内核移植与定制

结合处理器结构特性，移植 Linux 内核到龙芯系列处理器，包括 Loongson1、Loongson2 和 Loongson3，完成龙芯系列开发板的内核适配，开发了龙芯多核处理器的 SMP 和 CC-NUMA 内核。主要工作包括：中断初始化以及中断分发、多核处理器的核间通信机制、板级设备初始化、处理器微结构特性支持、例外处理、Cache/TLB 初始化等。

移植后的内核，已经在多个行业、多个项目中定型使用。通过重负载下的压力测试，同时采用 LTP 进行评测，能够通过 LTP 的大部分测试项目。

内核驱动开发

基于龙芯服务器主板，开发平台设备相关驱动程序，包括：向量 DMA 驱动、高清硬解码驱动、I2C 驱动、温度传感器驱动、电压传感器驱动、智能风扇驱动、CPU 热插拔驱动、串口驱动、千兆网卡驱动、GPU 驱动等。具备 Linux 系统下的驱动移植与开发能力。

稳定性调试

通过 ejtag、串口、kgdb 等工具调试系统稳定性，定位 CPU 与大型应用系统的缺陷，基于仿真平台分析系统崩溃问题。开发了基于网络的在线监控系统，统计 CPU 与系统运行过程中的状态。

2.5 内核分析工具开发

Oprofile 是一个开源的 profiling 工具，使用硬件性能计数器来统

计信息，进行 profiling 的开销比较小，而且可以对内核进行 profiling。它统计的信息非常的多，可以得到 cache 的缺失率，memory 的访存信息，分支预测错误率等。

Perf 是 Linux 内核自带的系统级性能调优工具，2.6.31 内核开始引入，目的是实现硬件与操纵系统资源的高效利用。Perf 统计的事件包括：硬件性能事件和软件性能事件。硬件性能事件主要借助于 CPU 内部的性能监测单元(PMU)进行统计，龙芯 3 号处理器的硬件性能事件主要包括：CPU 周期、分支指令、TLB 重填例外、Cache 缺失等。软件性能事件内置于 kernel 各个功能模块，用于统计与操作系统相关的性能事件，主要包括：系统调用次数、上下文切换次数、任务迁移次数、缺页例外次数等。

5.3 内核性能优化

中断负载均衡优化

龙芯中断负载均衡优化利用处理器核间通信机制，通过核间中断机制实现中断在多个处理器核之间的轮转处理，挖掘多核处理器的潜力。我们实现了网卡中断负载均衡优化，3A780E 平台上的 Netperf 测试数值，TCP 带宽由 592Mb/s 提升至 925Mb/s，UDP 带宽由 816Mb/s 提升至 959Mb/s，两项指标分别提升了 56%和 17%，优化后基本达到了千兆网络理论线速。

多核处理器同步优化

多核处理器系统中，共享资源的同步开销很大，同时片上互连网络的通信延迟，导致跨片的访存延迟大，进一步加剧了临界区的加锁竞争，导致加锁成功的概率降低，影响系统性能的发挥。层次化锁优化方案，主要针对龙芯多核 NUMA 系统进行优化，涉及的硬件平台

包括 3A 双路、3B 单双路系统。处理器核按照 node 进行分层，基于 node 实现层次化锁，层次锁框架下，16 核处理器系统，同时抢锁的处理器核最多有 4 个，分别来自于 4 个不同的 node，避免了 16 个处理器核同时抢普通锁的情况，降低了对普通锁的抢锁冲突，提高了抢锁成功率，降低了活锁的概率。使用 Unixbench 基准测试程序进行测试，综合性能分值提高 40%。

锁 Cache 优化

二级 Cache 锁机制通过把数据和指令锁到 Cache，降低了 Cache 缺失率，从而提高了部分特定应用的性能。龙芯 3A 二级 Cache 在设计时增加了锁机制，提高一些特定计算任务的性能。通过配置锁窗口寄存器，落在被锁区域中的二级 Cache 块会被锁住，因而不会被替换出二级 Cache。通过把网络协议栈锁到二级 Cache，网络性能提高 18%。

针对不同的应用程序，可以采用 HugePage、预取、向量化、Cache 划分、等优化手段，提高应用程序的性能。

6. 视频媒体解码

龙芯平台目前采用的播放器主要是官方 MPlayer-1.1。播放器对解码有硬件解码和软件解码两种形式。

在软件解码方面，龙芯公司在官方 MPlayer 的基础上，针对 H264，MPEG-4 主流媒体格式，通过多媒体向量汇编、多核并行解码等技术对内嵌的 ffmpeg 解码库进行了深入优化。目前龙芯 3A 平台上已经能够流畅播放较低码率的 H264/720P 视频，能够流畅播放中高码率 MPEG-4/720P 视频。从解码性能角度看，采用了龙芯多媒体指令加速的 mplayer 要比原始的 mplayer 解码速度快 30%~40%。

在硬件解码支持方面，龙芯平台支持 AMD 各系列独立显卡的

UVD 视频硬解码，能够流畅播放 1080P 30FPS 的 H264、VC1、MPEG-4 等格式视频。视频播放时 CPU 占用率一般不超过 15%。

Linux 下常用的 `gnome-mplayer`、`SMplayer` 均是通过调用 `mplayer` 实现的播放器，龙芯公司对 `mplayer` 的优化成果能够在这些软件中体现。另外，现在主流开源视频播放器大都采用了 `ffmpeg` 解码库，如在 Linux 下常用的流媒体播放器 VLC 也是通过调用 `ffmpeg` 解码库进行视频解码的；`gststreamer` 解码框架也通过 `gst-ffmpeg` 和 `gst-libav` 以插件的形式支持 `ffmpeg` 解码库；因此，在龙芯平台上可以很容易将现有媒体优化成果移植到 `ffmpeg` 解码库或者 VLC，`gststreamer` 等播放器平台。

7. 合作厂商与龙芯软件生态

7.1 操作系统

支持龙芯的通用操作系统主要有国外的 Debian、Fedora、Mandriva、CentOS、Android 等 Linux 系统，国产 OS 有中标软件公司与湖南麒麟公司的共同产品中标麒麟操作系统桌面版本与服务器版本、以及普华公司的龙芯操作系统桌面版本与服务器版本等。

支持龙芯的嵌入式操作系统主要有国外的 VxWorks 操作系统，国产的有中国电科 32 所的 ReWorks 操作系统，中航工业北京科银京成公司的“道”系统，航天科工 706 的天熠操作系统等。VxWorks 5.5 单核操作系统支持龙芯单核产品，VxWorks 6.7 及以上操作系统能运行龙芯的多核和单核产品，同时提供对龙芯的仿真环境支持。

下面介绍国产操作系统在龙芯上的适配情况。

中标麒麟操作系统

中标软件与国防科大合作推出中标麒麟操作系统。中标麒麟桌面

操作系统采用开放的、一架式系统设计方案，提供最新的稳定核心、硬件驱动及上层软件包。目前基于龙芯 2F、龙芯 3A 和龙芯 3B 计算机平台的中标麒麟操作系统已在中国电科 15 所、28 所和航天科工 706 所等多个工业研究所的项目中得到应用并推广。

Reworks

ReWorks 操作系统是中国电子科技集团公司第三十二研究所开发的一款面向嵌入式领域的实时操作系统。系统具有完全自主知识产权，具备强实时性、高可靠性和可裁剪性等特征，符合 POSIX1003.13-2003 实时规范接口，并提供 VxWorks 兼容接口，支持嵌入式系统应用向国产平台的快速迁移。

配套的 ReDe 集成开发环境实现嵌入式应用软件的设计、配置、开发、调试、仿真、运行监控等功能的一体化集成，可有效提高嵌入式软件的开发效率和质量。

ReWorks 操作系统已经完成针对龙芯 2F、3A 的国产处理器的适配工作，并实现了串口、千兆网卡、CAN、1553、PCI、USB、IDE/SATA 硬盘、FLASH、2D/3D 显卡、触摸屏、音视频采集卡等主流模块的驱动，并基于龙芯 2F 平台实现了操作系统定型，全面验证了 ReWorks 操作系统针对龙芯硬件平台的功能、性能优化及可靠性。完成龙芯 1A 处理器适配工作、并针对龙芯 3A 提供 ReWorks 多核版本，从而针对龙芯国产处理器完成全系列国产嵌入式基础软硬件产品套件及解决方案。

DeltaOS（道操作系统）

中航工业北京科银京成公司开发的 DeltaOS（道操作系统）是一款实时操作系统，可以嵌入到以 32 位中央处理器为核心的各种电子

设备中。DeltaOS 提供的各种机制可以使电子设备中的应用程序在多任务环境下运行，同时满足开发人员在开发电子设备时的基本需求。

DeltaOS 是一个高可靠嵌入式实时操作系统，是智能电子设备软件的核心，在多种电子设备中得到应用，特别是 DeltaOS 已经被成功应用于航空/航天的高可靠性设备。

7.2 数据库

在龙芯平台上支持的数据库包括常见的 MySQL，国产的武汉达梦、人大金仓和神舟通用等数据库。

武汉达梦数据库

达梦数据库有限公司成立于 2000 年，为国有控股的基础软件企业，专业从事数据库管理系统研发、销售和服务。达梦数据库具备齐全的功能、高安全、高可靠性集群、完整的数据复制、高性能等功能特性。达梦数据库进行了基于龙芯平台的深度适配和持续优化。

人大金仓数据库

北京人大金仓信息技术股份有限公司于 1999 年发起创立，至今已成功获得中国电子科技集团（CETC）旗下的普华基础软件股份有限公司和太极计算机股份有限公司的战略注资。

人大金仓多年来一直对国产 CPU 的高度关注和充分支持，金仓数据库的多个版本均提供支持龙芯 CPU 的产品，并对国产龙芯 CPU 的新特性进行了充分的支持、改进和优化。目前，金仓数据库最新版本已经发布了龙芯的版本，近期将在相关的项目中推广使用。

神舟通用数据库

神舟通用数据技术有限公司隶属于中国航天科技集团公司，致力于国产数据库研发和产业化，拥有具有自主知识产权的神通数据库管

理系统系列产品。目前已经完成了在龙芯平台的移植与适配工作。

7.3 中间件支持

龙芯系列 CPU 支持国产中创、东方通和金蝶等中间件。

山东中创中间件

中创软件商用中间件股份有限公司是拥有国家涉密甲级资质与国家武器装备科研生产许可的专业中间件厂商。公司为能源电力、金融、交通、税务、电信及互联网等各行业的重要客户提供稳定可靠产品与服务支持；在国家安全领域广泛应用，实现了全国性部署，常态化运行。

东方通中间件

东方通中间件是少数既可以应用传统技术也可以采用 SOA 双重解决方案的厂商，且已经拥有很多 SOA 应用成功案例。

金蝶中间件

金蝶中间件目前拥有 Apusic J2EE 应用服务器、Apusic 消息中间件、Apusic ESB、Operamasks Studio、OperaMasks SDK、Apusic Portal Suite 等产品，能够帮助客户摆脱底层困扰、快速构建、安全管理、灵活重用、有效降低系统开发复杂性与开发成本，并最大限度保护现有资源，推动企业快速实现他们的商业价值。

7.4 办公软件

在办公软件方面，龙芯平台支持国外的 OpenOffice 和国产的中标普华 Office、永中 Office 和金山 Office 等。

中标普华 office

中标普华 Office 是上海中标软件有限公司推出的办公软件产品。产品可跨平台运行于 Windows、Linux 等主流操作系统；全面兼容微

软 Office2003 及 2007/2010 文档，支持 UOF 国家标准及 ODF、OOXML 国际标准。目前在龙芯平台上已经推出多个产品。

金山 WPS office

金山 WPS 集编辑与打印为一体，具有丰富的全屏幕编辑功能，而且还提供了各种控制输出格式及打印功能，使打印出的文稿即美观又规范，基本上能满足各界文字工作者编辑、打印各种文件的需要和要求。

7.5 其他基础软件及开发环境

龙芯支持其他重要软件如 Java 和 Flash 等，支持通用的 GCC 编译器，可进行本地编译和交叉编译，支持集成开发环境 QT 等，支持在线调试，可方便地进行性能评估。

Eclipse

Eclipse 是一个开放源代码的、基于 Java 的可扩展开发平台。就其本身而言，它只是一个框架和一组服务，用于通过插件组件构建开发环境。幸运的是，Eclipse 附带了一个标准的插件集，包括 Java 开发工具。龙芯 2 号 / 3 号平台上能够稳定运行 eclipse。

QT

Qt 是一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架。它提供给应用程序开发者建立艺术级的图形用户界面所需的所用功能。Qt 是完全面向对象的，很容易扩展，并且允许真正地组件编程。Qt 也是流行的 Linux 桌面环境 KDE 的基础。Qt 具有优良的跨平台特性、面向对象、丰富的 API、大量的开发文档等优点。

目前龙芯 2 号 / 3 号平台支持 QT4.8 及以上版本。

GCC

开源编译套件 GCC 支持龙芯系列处理器的体系结构调优选项，可通过两种方式获得优化后的编译器：使用龙芯处理器配套发布文件系统中/opt/toolchain/下的安装包或从 GNU 官网下载 GCC4.6.0 以上版本源码，后者需用户自行编译工具链。通过添加编译优化选项例如 -march=loongson3a，即可使用针对该处理器的流水线描述来进行代码调度，生成的代码也能够充分利用龙芯处理器的指令集扩充。

GDB

GDB 是 GNU 开源组织发布的 Linux 下的 C 和 C++ 语言的程序调试工具。目前，龙芯配套的发布系统中包含了 GDB 调试器。在使用 GDB 调试程序前，推荐使用编译选项 -g 来编译源程序，以添加调试信息，方便调试。

Oprofile

Oprofile 是用于 Linux 的若干种评测和性能监控工具中的一种，它可以工作在不同的体系结构上。Oprofile 是 Linux 平台上的一个功能强大的性能分析工具，支持两种采样(sampling)方式：基于事件的采样(event based)和基于时间的采样(time based)。Oprofile 支持龙芯系列处理器。

Flash

目前 Adobe Flash Player10.2 浏览器插件已经在龙芯平台上成功完成移植，并且通过了 Adobe DCTS 功能测试。支持 Adobe 的 Action Script 2、Action Script3 和 Flash10 格式的文件播放，可满足 Flash10 的音视频播放及交互式应用系统的需要。